

도시열환경 개선 및 보행자 열쾌적성 증대를 위한 효율적 가로녹지 조성방안 마련의 첫 단계[†]

- 가로녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수 도출 및 도시 열환경과의 관계 연구 -

박주현*, 엄정희**

*경북대학교 대학원 조경학과 박사과정, **경북대학교 산림과학·조경학부 조경학전공 부교수

1. 서론

도시 열환경과 관련하여 지난 10년간 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 분야는 거리협곡의 기하학적 구조가 열섬에 미치는 영향에 대한 연구이다. 초기 거리협곡에 대한 연구는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 거리협곡의 종횡비 및 도로 방향에 따른 실외 열환경을 평가하는 것에서부터 시작되었다. 이후 연구는 종횡비, 거리협곡의 방향, SVF 등 거리협곡의 공간적 특성에 따라 달라지는 열용량 및 열섬 강도에 대한 이해와 함께 거리협곡 내 온도저감을 위한 수단에 대한 연구들로 발전했다. 즉, 거리협곡과 열환경에 대한 연구의 목적은 거리협곡 특성에 맞는 열저감 방안을 찾기 위함이며, 연구 결과 가장 효과적이고 효율적이며 경제적이고 실현가능한 방법은 그린인프라의 구축이라는 결론을 도출하였다(Coutts et al., 2016). 본 연구는 거리협곡 내 도시 열환경 개선 및 보행자 열쾌적성 증대를 위한 계획 및 설계에 활용가능한 매개변수를 도출하고 매개변수 간의 상관관계를 연구하여 효율적인 녹지 조성에 대한 기초자료를 만드는 것을 목적으로 한다. 추후 본 연구는 가로수 및 가로녹지 조성을 위한 위치선정 및 우선순위 선정을 위한 기초자료로 활용할 수 있으며, 열환경 개선 및 보행자 열쾌적성을 고려한 가로녹지 조성기준 마련을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

2. 연구체계 및 방법

본 연구는 도시열환경 개선을 위한 방법 중 하나인 가로녹지 조성의 효율성 증대를 위해 가로녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수를 도출하고, 도출된 매개변수의 열환경 개선 매커니즘과 이에 대한 적용 방안을 제시하였다. 이를 위해 먼저 연구 대상 논문을 다음과 같은 몇 단계의 과정을 통해 선정하고 분석하였다. 첫 번째 단계에서는 도시열섬 관련 키워드와 가로녹지 관련 키워드를 검색하여 도시열환경 개선을 위한 녹지조성에 대한 연구 논문을 추출하였다. 다음 단계로는 선택된 논문 중 온난대기후대 관련 논문만 선별하였다. 마지막으로 도시열환경 개선과 관련된 매개변수 도출을 위해 거리협곡 종횡비, 재료알베도, 토지피복 등 열환경 강도에 영향을 미치는 매개변수 관련 논문과 수고, 수관폭, 식생층위구조 등 열환경 완화에 영향을 미치는 매개변수 관련 논문을 중심으로 연구대상논문을 선정하였다.

이렇게 선정된 논문은 먼저 도시 열환경의 강도와 도시 열환경 완화에 영향을 미치는 요소 분석을 통해 도시 열환경 개선 및 완화를 위한 매개변수를 도출하였다(1차 선정). 다음으로, 측정 및 시뮬레이션 기반의 연구 분석을 통해 매개변수와 녹지조성과의 연계성 및 상호인과관계에 대한 매커니즘을 파악하고 이를 기반으로 녹지 계획 및 설계에 활용 가능한 매개변수를 확정하였다(2차 선정). 이렇게 확정된 매개변수는 열환경 완화 과정에서 이루어지는 매개변수 간의 상호작용 및 관계 분석을 통해 '녹지 계획 및 설계에 영향을 주는 매개변수'와 '녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수'로 분류하여 활용도를 높였으며, 더불어 각 매개변수에 대한 열환경 개선 방안을 구체적으로 제시하여 녹지 조성을 위한 기초자료를 마련했다.

3. 연구 결과

3.1 녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수 도출

많은 연구 논문에서 녹지의 냉각효과는 주변 건물환경에 영향을 받는 것으로 보고되고 있으며, 최근 연구되고 있는 도시 열환경 관련 연구 중 많은 수는 거리협곡을 기반으로 진행되고 있다. 도시 거리협곡을 기반으로 하는 대부분의 연구에서 거리협곡의 기하학적 구조(건물높이, 거리협곡의 너비, 종횡비 등)와 거리 방향은 태양노출로 인한 태양복사의 양과 질을 결정하는 매개변수이며, 마이크로 스케일에서 실외 열 노출을 줄이기 위한 가장 효과적인 접근 방법은 거리협곡 내 태양의 단파복사를 줄이는 것이라고 결론짓고 있다. 이러한 의미에서 도시 거리협곡의 기하학적 구조와 거리 방향은 녹지 조성의 위치 및 방법의 선택과 매우 직접적인 연관성을 가진다.

최근 열환경 개선 및 보행자 열쾌적성에 관한 연구의 또 하나의 중요한 관점은 T_a (평균기온) 및 T_{MRT} (평균복사온도)를 줄이기 위한 최적의 수목형태와 녹지 조성 방법을 찾는 것이다. 이를 위해 많은 연구에서는 특정 환경 매개변수에 대해 다양한 수목 및 식재방법 관련 매개변수를 대입하는 측정 및 시뮬레이션 방식의 연구를 통해 효과적인 녹지조성 관련 매개변수를 도출하고 있다. 교목은 수관을 통해 그늘을 제공할 수 있기 때문에 더 높은 기온 감소를

[†]본 연구는 한국연구재단 재원의 “시민참여형 플랫폼을 활용한 지역맞춤 더위체감 분석 및 평가기술 개발(NRF-2019R1A2C1011042)”과 산림청(한국임업진흥원) 재원의 “산림과학기술 연구개발사업(2022428B10-2224-0802)”의 지원을 받아 연구되었습니다.

제공할 수 있는 가장 효과적인 식재방법으로 거론되고 있으며, 성상, 수관폭, 수고, 엽면적 지수(LAI), 지하고, 잎의 컬러 등의 차이로 인해 수종도 미기후를 조절하는데 중요한 역할을 하는 것으로 드러났다. 뿐만 아니라 도시 열환경 완화 및 보행자 열쾌적성 증대를 위해서는 식생층위구조, 배열 방법, 식재 간격, 식재 비율, 띠녹지 두께 등의 식재 방법에 대한 매개변수 역시 미기후 조절에 중요한 역할을 수행하는 것으로 나타났다(Table 1 참조).

Table 1. 녹지계획 및 설계를 위한 매개변수

| 녹지 계획 및 설계에 영향을 주는 매개변수 | 녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수 | |
|--|--|--|
| | 수목 특성 | 식재 방법적 특성 |
| 종횡비(H:W 비율), 건물의 높이, 거리의 너비, 거리의 방향, 도로의 너비, 보도의 너비, 중앙분리대 유무, SVF | 수관의 형태, 수고, 수관의 높이 및 두께, 수관폭, 식물유형(교목, 관목, 초화), 수종, 잎의 크기, 엽면적 지수(LAI), 도시협곡의 음영, 잎의 크기, 지하고, 잎의 컬러, 잎의 두께, 녹지용적 | 가로수 간격, 식생층위구조, 다열식재, 식재 방법(녹지, 벽면녹화, 옥상녹화), 성상(침엽수/활엽수), 수관피복률, 가로수의 간격, 띠녹지 스트랩 수, 띠녹지 두께, 식재 밀도, 도시협곡 내 수목 위치, 도시협곡 내 가로수 식재 비율 |

3.2 녹지 조성에 영향을 주는 매개변수의 특성: 도시공간적 특성

종횡비, 거리의 방향, SVF 등의 공간적 특성을 설명하는 매개변수는 효율적인 녹지 조성의 위치와 우선순위를 결정하는데 중요한 역할을 수행한다. 녹지 조성은 다운 오후시간 동안 나무의 열저감 영향이 가장 잘 미칠 수 있는 위치에 집중되어야 하며, 태양에 가장 많이 노출되며, 건물로 인한 그늘이 형성되지 않는 열린 공간에 녹지를 조성하는 것이 효과적이다. 태양 노출에 많은 영향을 주는 도시공간적 매개변수는 크게 거리 종횡비(H:W 비율) 관련 매개변수와 거리방향으로 나누어 정리할 수 있다. 태양노출이 높은 거리기하학적 특성은 H:W 비율이 낮고(건물높이는 낮고, 거리 너비는 넓은 경우), SVF가 높은 경우이며, 이러한 거리특성을 가질 경우 가로수를 우선적으로 식재하는 것이 좋다. 태양 노출의 정도를 결정하는 또 하나의 도시공간적 특성은 거리 방향이다. 남북방향의 거리는 동서방향의 거리보다 더 긴 음영시간을 제공하므로 가로수를 식재할 때 동서 방향의 거리가 더 우선적으로 식재되는 것이 좋다. 거리의 방향은 태양의 움직임 및 건물로 인해 형성되는 그늘과 밀접한 관계가 있으며, 태양노출 강도 및 시간을 고려할 때 동서 방향의 북측보도, 북서-남동 방향의 동북측 보도, 남북 방향의 동측 보도 순으로 우선순위를 선정하는 것이 합리적이다.

3.3 녹지 설계를 위한 매개변수의 특성: 수목 및 식재 방법적 특성

도시의 공간적 특성 관련 매개변수를 통해 도시열환경 개선을 위한 최적의 녹지 조성 위치와 우선순위를 결정했다면 수목 및 식재 방법적 특성 관련 매개변수는 녹지조성의 효율성을 결정한다. 수목의 냉각능력은 물리적·구조적 특성에 따라 동일하지 않으며, 도시 거리협곡의 환경적 특성에 따라 수목의 냉각효과는 다르게 나타날 수 있다. 열환경 개선 및 보행자 열쾌적성 증대를 위한 식재 방법의 원칙은 T_{MRT} 를 줄이는 것이며, 이를 위한 가장 좋은 방법은 단파플렉스를 줄이기 위해 그늘을 많이 제공하는 것이다. 교목은 주로 보행자에게 입사되는 단파복사 플렉스를 줄임으로써 낮 동안 평균표면온도에 긍정적인 영향을 미친다. 또한 교목은 주변거리와 건물벽 표면을 식혀 보행자를 향해 방출되는 장파복사 플렉스를 줄이는 효과가 있다. 나무가 많을수록 더 많은 기온과 평균복사온도가 감소하나 제한된 공간과 한정적인 예산으로 녹지를 조성해야 하므로 가장 합리적인 방법을 찾는 것 필요하다. H:W 비율이 낮은 거리에서는 수관폭이 넓을수록, LAI가 높을수록, 가로수 간격이 좁을수록, 다열식재일수록, 다층식재일수록 열저감 효과가 더 크게 나타나며, 반대로 H:W 비율이 높은 거리에서는 수관폭이 적은 교목일수록, 가로수 간격이 넓을수록 열저감에 더 효과적이다. 식생층위구조 또한 H:W 비율에 따라 이상적인 조합이 달라진다. 일반적으로는 교목 + 아교목 + 관목의 다층구조식재가 열저감에 더 효율적이며, H:W 비율이 높아 그늘이 형성되는 거리에 대해서는 교목 대신 관목 및 초화를 식재하거나 벽면녹화를 조성하는 것이 더 효과적이다. 띠녹지는 보도폭이 허락하는 범위에서 넓은 것이 효과가 좋으며, 중앙분리대는 H:W 비율이 낮은 도로에서 조성하는 것이 효과적이다(엄정희 외, 2022).

4. 결론

본 연구는 선행연구를 통해 도시 열환경 개선 및 보행자 열쾌적성 증대를 위한 거리녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수를 도출하였으며, 이를 도시공간적 매개변수(녹지 계획 및 설계에 영향을 주는 매개변수)와 수종 및 식재 방법적 매개변수(녹지 계획 및 설계를 위한 매개변수)로 분류하여 제시함으로써 활용도를 높였다. 추후 종횡비의 변화에 따른 효과적인 식생층위구조를 밝히는 연구가 필요하며, 가로수 간격, 다열식재 등에 대한 임계값을 밝히는 연구가 요구된다. 본 연구는 가로수 및 가로녹지 조성을 위한 위치선정 및 우선순위 선정을 위한 기초자료로 활용할 수 있으며, 기후변화 및 탄소중립 달성을 위한 녹지조성 가이드라인과 열저감을 위한 도시 녹지계획의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 엄정희 외(2022) 바람길숲 유형별 조성 효과 및 환경 특성 분석. 국립산림과학원 연구보고서.
2. Coutts, A. M., E. C. White, N. J. Tapper, J. Beringer and S. J. Livesley(2016) Temperature and Human Thermal Comfort Effects of Street Trees Across Three Contrasting Street Canyon Environments.